

Utilisation de la prairie permanente dans le contexte d'extensification: application en productions de viande et de lait

DIEGUEZ CAMERONI F.J.¹, HORNICK J. L.², ISTASSE L.², DUFRASNE I.²

¹ Instituto Plan Agropecuario, Unidad de Gestión y Capacitación, Bd Artigas 3802, CP 11.700, Montevideo, Uruguay

² Service de Nutrition, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Boulevard de Colonster 20, Bâtiment B43, 4000 Liège, Belgique

Correspondance : Dr Francisco Dieguez - Email : fd_uy@yahoo.com ; fdieguez@planagropecuario.org.uy

RESUME : Les productions animales sont soumises à des restrictions qui ont pour objectif de respecter le bien être animal et la sécurité de la chaîne alimentaire ou de contrôler les volumes de production et leurs impacts environnementaux. Ces dernières restrictions imposent des mesures de réduction du chargement en animaux par hectare et du niveau de fertilisation azotée et sont réglementées dans le cadre de la Directive Nitrate (91/676/EC). L'extensification des systèmes de production répond aux mesures encouragées par les politiques agricoles qui visent à réduire l'excédent d'azote (N) dans des systèmes de production présentant intrinsèquement de faibles efficacités d'utilisation de l'azote. Le présent travail récapitule les résultats zootechniques, phytotechniques et environnementaux des systèmes de pâturage, pendant six années, pour trois catégories d'animaux (vaches allaitantes et veaux, taureaux et vaches laitières). Des protocoles semblables ont été utilisés pour les trois catégories, à savoir, un système avec fertilisation azotée et chargement conventionnel intensif (3/3 N), un traitement avec le même chargement et une fertilisation azotée réduite d'un tiers (2/3 N) et un traitement sans application de fertilisation azotée (0 N) avec un chargement adapté. Les résultats montrent qu'une réduction d'un tiers de la fertilisation azotée peut être envisagée pour réduire les excédents d'azote des systèmes de pâturage alors que les systèmes extensifs présentent des efficacités plus hautes d'utilisation de l'azote et des bilans azotés plus favorables, sans affecter le niveau ni la qualité des produits.

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

L'effort considérable réalisé en Europe durant les années 50 et 60 pour rendre l'agriculture plus productive s'est accompagné d'une spécialisation marquée des productions laitières et viandeuses bovines ainsi que d'une intensification des systèmes de production correspondants. La terre étant le facteur de production le plus rare et souvent le plus cher, l'intensification a surtout été réalisée par une augmentation de la productivité des surfaces exploitées (production par hectare). Ce résultat a été obtenu grâce à des quantités accrues d'intrants, et par la mise au point de modes d'élevage et de techniques de production de plus

en plus élaborés. L'engraissement intensif des veaux de boucherie et des taurillons en sont les exemples types (Menissier, 1990).

De nos jours, en raison d'une démographie déclinante de la population agricole et d'une nécessité de contenir les coûts de ces produits, l'extensification des systèmes de production agricole est considérée comme une des solutions possibles au plan de la politique agricole pour réguler l'offre et les marchés, maintenir le revenu agricole et maîtriser l'aménagement du territoire et la gestion de l'environnement (Keane et Allen, 1999). Les productions utilisatrices d'herbe, comme la production de viande bovine, sont directement concernées par cette extensification (Menissier,

1990). Il convient alors d'utiliser des systèmes de production qui valorisent plus de surfaces herbagères et réduisent simultanément les coûts de production directs (Delaby *et al.*, 1997). La Politique agricole commune (Commission européenne) favorise ces systèmes plus extensifs au travers de primes aux troupeaux allaitants, aux bovins mâles, et à travers les mesures agro-environnementales (Micol *et al.*, 1997). De nouveaux débouchés répondant à la crise énergétique sont actuellement envisagés pour le secteur agricole. Ils imposeront probablement à l'avenir d'utiliser le territoire différemment.

Les changements des conditions techniques de production agricole dans la Communauté européenne, par l'im-

position des quotas et la nécessité de réduire les intrants, ont conduit à une réduction de l'utilisation de la fumure azotée. Cette tendance n'est pas seulement appuyée par les changements des politiques de production mais aussi par les effets nocifs des productions intensives sur l'environnement (Peyraud et Astigarraga, 1998). La responsabilité de l'agriculture moderne dans l'accroissement de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates puis par les produits phytosanitaires a été largement étudiée au cours de ces vingt dernières années, particulièrement au niveau de la teneur en nitrates des eaux et des émissions des gaz azotés dans l'atmosphère (Stevens, 1999).

Avec une production agricole dite extensive, on ne cherche plus à atteindre la production maximale permise par les potentialités du milieu. On cherche une production optimale compatible avec un objectif différent, collectif (production, utilisation du territoire, environnement) et/ou individuel (travail, pluriactivité, qualité et valorisation des produits, agrandissement, entretien du territoire, qualité de vie...) (Micol *et al.*, 1997).

1.2 Généralités sur la production animale au pâturage, le cycle de l'azote et l'extensification de la production

Les systèmes de production des ruminants au pâturage impliquent des interrelations assez complexes entre productions animales, extensification, cycle de l'azote et les conditions climatiques qui affectent directement le processus de production. On peut identifier trois compartiments principaux — le sol, l'herbe et l'animal —, et trois relations de mouvement de nutriments, où l'azote est l'élément central. Ces trois mouvements d'azote dans le système sont les intrants (sous forme de fertilisation, de l'aliment donné aux animaux, de la fixation azotée par les légumineuses et des apports d'azote par la pluie), les sorties (sous forme de produits animaux, dénitrification, volatilisation et lessivage) et les flux internes entre chacun des trois compartiments (Delaby *et al.*, 1997 ; Simon *et al.*, 1997) (figure 1).

Les flux internes comprennent des mouvements de matières entre composants (excrétion d'animaux, plantes mortes) des changements de formes chimiques des composants azotés dans le sol et au sein du métabolisme des animaux et végétaux. On remarque

que les composants chimiques contiennent de l'azote présent sous différentes formes : inorganique (ammonium, urée, nitrites, nitrates...) ou organique (notamment acides aminés, bases azotées, vitamines...).

Au niveau chimique, l'étude prend en compte les bilans azotés (différence absolue entre entrées et sorties) et les efficacités d'utilisation d'azote (relation entre sorties et entrées) sans différencier la composition chimique dans laquelle l'azote se trouve. On parle fréquemment de l'axe sol-plante-animal, dans le sens du flux de matière depuis les intrants vers le processus de production et le produit animal. Il est possible néanmoins que la notion la plus adéquate soit triangulaire et bilatérale entre compartiments, étant donné que les rapports entre composants des systèmes au pâturage sont indivisibles, interconnectés et présentent les mêmes niveaux d'importance. En outre, les sorties du système de production au pâturage à l'échelle d'une parcelle ou d'une ferme deviennent des intrants dans le système global, avec des répercussions d'échelle sur le plan écologique, comme l'eutrophisation par excès de nitrates dans les eaux superficielles et la contamination des nappes phréatiques ou l'émission de gaz azotés à effet de serre.

Les systèmes de production au pâturage sont normalement décrits comme peu efficaces du point de vue de l'utilisation de l'azote. Les rapports sorties/entrées d'azote des systèmes « conventionnels » sont de l'ordre de 15 à 30 % (Scholefield et Fisher, 2000), cependant, dans les systèmes « biologiques », les efficacités peuvent atteindre plus de 50 %, voire 80 % (Simon *et al.*, 1997).

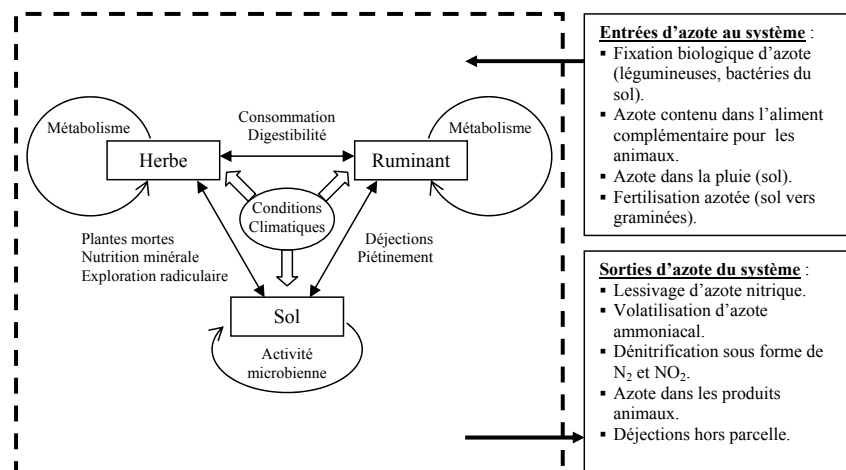
La fumure azotée représente l'intrant le plus important. La réduction de l'application de fertilisant azoté a été largement décrite comme une bonne manière de réduire les risques des pertes d'azote par volatilisation ou lessivage à partir de l'azote des systèmes de production de viande et de lait (Simon *et al.*, 1997 ; Scholefield et Fisher, 2000).

2. MATERIEL ET METHODES

Un ensemble d'essais ont été réalisés sur des prairies permanentes situées dans la région liégeoise à Station expérimentale de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège. Les essais ont été répétés pendant six années consécutives pour chacune des catégories : vaches allaitantes, vaches laitières et taureaux.

Les protocoles d'intensification utilisés dans tous les essais comprenaient un lot « conventionnel intensif : 3/3 N » avec une fertilisation azotée et chargement élevés, un lot « désintensifié : 2/3 N » avec une fertilisation réduite d'un tiers et même chargement que le lot 3/3 N, et un lot « extensif : 0 N » sans fertilisation azotée et avec un chargement réduit, adapté à l'absence de fertilisation. La fumure azotée a été apportée sous forme de nitrate d'ammonium à 27 % N en plusieurs fractions aux mêmes dates dans les lots recevant de la fertilisation azotée (3/3 N et 2/3 N). Les protocoles dans chaque essai ont été semblables, avec néanmoins des différences relatives aux catégories d'animaux utilisés (vaches allaitantes et veaux, vaches laitières et taureaux).

Figure 1 : Compartiments et leurs interrelations dans le cycle de l'azote des systèmes de production au pâturage (adapté de Simon *et al.*, 1997)



Les mesures ont porté sur des variables relatives aux paramètres phyto-techniques (production et composition de l'herbe) et zootechniques (gain du poids, urée plasmatique, qualité des produits animaux) selon les catégories d'animaux, ainsi que la teneur en nitrates dans le sol. Des bilans azotés et l'efficacité d'utilisation de l'azote ont été calculés pour chaque essai en considérant les entrées et sorties d'azote dans le système.

2.1 Animaux et conduite du pâturage

Vaches allaitantes

Les périodes expérimentales ont commencé fin du mois d'avril et se sont terminées au cours du mois d'octobre, après en moyenne 168 ± 5 jours de pâturage effectif pour les vaches et 121 ± 11 jours pour les veaux. Le système de pâturage continu a été employé. Chaque année, 13 vaches de race Blanc Bleu Belge et leurs veaux ont été repartis en 3 lots homogènes sur base de leur âge et de leur poids vif (lots 3/3 N et 2/3 N : 4 vaches et lot 0 N : 5 vaches) (tableau 1).

La fertilisation a été appliquée une fois par mois, pendant toute la période de pâturage. Au total, il y a eu 5 applications par an. Lors de chaque application d'engrais azoté une quantité de 41 kg N/ha était appliquée sur le lot 3/3 N et 27 kg N/ha sur le lot 2/3 N. Les traitements ont été répétés chaque année dans les mêmes parcelles.

De l'ensilage de maïs, aliment complémentaire à l'herbe car riche en fibre et pauvre en protéines, a été apporté pendant certaines périodes au cours des premières, troisièmes et sixièmes années (329, 580 et 200 kg matière fraîche/vache/année respectivement dans chacun des trois traitements) suite à une disponibilité en herbe insuffisante. Les veaux ont reçu un complément dans une trémie inaccessible aux vaches. Il s'agissait d'un mélange de commerce comprenant principalement des céréales floconnées, du son, de la luzerne déshydratée et du tourteau de lin. La quantité d'aliments était distribuée de façon croissante pendant la saison de pâturage en fonction de l'appétit des veaux.

Vaches laitières

Le nombre total d'animaux par année était de 27 vaches pendant les trois premières années et de 24 vaches

Tableau 1 : Récapitulatif des protocoles d'essai des trois niveaux d'intensification (3/3 N, 2/3 N et 0 N) et pour les trois catégories d'animaux (vaches allaitantes et veaux, vaches laitières et taureaux).

	VARIABLE	TRAITEMENT		
		3/3 N	2/3 N	0 N
Essai I. Vaches allaitantes	Système de pâturage	Continu		
	Fertilisation (kg d'azote/ha/an)*	202 ± 0	135 ± 0	0 ± 0
	Chargement (animaux/ha) :			
	- Vaches	4,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1	2,9 ± 0,1
	- Veaux	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	2,6 ± 0,1
	UGB/ha	4,7 ± 0,2	4,7 ± 0,2	3,5 ± 0,3
	Poids vif initial (kg) :			
- Vaches	579 ± 28	575 ± 25	576 ± 28	
- Veaux	112 ± 21	113 ± 21	113 ± 20	
Jours vêlage – début d'essai	84 ± 16	84 ± 20	86 ± 21	
Essai II. Vaches laitières	Système de pâturage	Tournant		
	Fertilisation (kg d'azote /ha/an)*	136 ± 19	91 ± 12	0 ± 0
	Chargement (animaux/ha)	3,3 ± 0,1	3,3 ± 0,1	2,5 ± 0,1
	Poids vif initial (kg)	538 ± 24	535 ± 30	536 ± 24
	Jours de lactation au début d'essai	59 ± 8	60 ± 8	59 ± 11
	Production initiale du lait (kg/l)	22,0 ± 2,4	21,8 ± 2,1	22,4 ± 2,5
Essai III. Taureaux	Système de pâturage	Continu		
	Fertilisation (kg d'azote /ha/an)*	140 ± 22	93 ± 15	3 ± 8
	Chargement (animaux/ha)	6,0 ± 0	6,0 ± 0	4,0 ± 0
	UGB/ha	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,3	2,3 ± 0,1
	Poids vif initial (kg)	288 ± 34	294 ± 28	293 ± 27

* La fumure azotée a été apportée sous forme de nitrate d'ammonium à 27% d'azote par kg de fertilisant. Les valeurs présentées correspondent à la moyenne ± écart type.

pendant les trois dernières années. La majorité des vaches étaient Pie Noir Holstein (50 %). Il y avait également des Pie Rouge (25 %) et des croisées Pie Noir et Blanc Bleu Belge (25 %). Le pourcentage de primipares était de 35 %. Chaque année, les animaux ont été répartis en 3 lots les plus homogènes possible sur base de la race, du numéro de lactation, de la date de vêlage, de la production de lait de la lactation antérieure et de la production à la mise à l'herbe.

L'aliment complémentaire était constitué de pulpes séchées (50 %) et d'orge aplatie (50 %). Il était distribué pendant la traite à l'aide d'un distributeur manuel. La complémentation individuelle a été fixée à raison de 1 kg par tranche de 3 kg de lait pour les productions supérieures à 12 kg/jour. Elle a été augmentée de 0,6 kg/vache/jour tous les mois à partir du quatrième mois de lactation pour tous les animaux afin de soutenir la production laitière. Des pierres de sel (NaCl) étaient mises à la disposition des animaux.

Trois niveaux de fertilisation azotée ont été comparés pendant six années consécutives. Les niveaux annuels de fertilisation ont été de 136 kg d'azote (40 kg N/ha après chaque passage) dans le traitement 3/3 N, 91 kg d'azote (27 kg N/ha après chaque passage) dans le lot 2/3 N et 0 kg d'azote dans le

traitement 0 N. Les parcelles affectées aux lots 3/3 N et 2/3 N ont été pâturées à un même âge de repousse lors des différents cycles de pâturage (tableau 1). Le système de pâturage tournant a été appliqué. Il comprenait 6 parcelles. Afin de gérer les excédents d'herbe en début de saison, des génisses ont été ajoutées ou des parcelles fauchées.

Chaque année en avril, les prairies ont reçu une fertilisation de fond constituée de 54 unités de phosphore et 54 unités de potassium. Les applications d'engrais azotés sur les parcelles des lots 3/3 N et 2/3 N ont commencé au deuxième passage des animaux et ont été effectuées après chaque sortie des animaux, sauf lors des périodes de sécheresse prolongée.

Les lots 3/3 N et 2/3 N étaient conduits de manière similaire tandis que le lot 0 N était conduit de manière indépendante. La sortie des animaux des parcelles des traitements 3/3 N et 2/3 N était décidée quand la production laitière des 3 derniers jours du lot 3/3 N, lot de référence, chutait à 90 % de la production maximale observée sur la parcelle. Le même critère était appliqué par les animaux du lot 0 N.

Taureaux

Les animaux expérimentaux (n = 192 pendant les 6 années d'essai), de race Blanc Bleu Belge, ont été répartis en 4 lots de 8 animaux sur base de leur

poinds vif : un lot (lot Témoin) a été soumis à un engraissement en stabulation et trois lots ont pâturé. Parmi, ces trois lots, un lot a été soumis à un niveau élevé de chargement et de fertilisation azotée (3/3 N). Le second lot a pâturé dans un système avec un niveau de chargement élevé et une fertilisation réduite de 33 % (2/3 N) par rapport au premier lot. Le dernier lot au pâturage disposait d'une prairie menée avec un chargement réduit de 33 % par rapport au lot 2/3 N et 3/3 N où il n'y avait pas d'apport d'engrais azoté (0 N) (tableau 1).

Les lots au pâturage recevaient un concentré composé de pulpes séchées de betterave (50 %) et d'orge aplatie (50 %) distribué à raison de 1 kg/j/taureau en moyenne au cours de la saison. Ce niveau était éventuellement augmenté si la quantité d'herbe disponible était insuffisante.

Après la saison de pâturage, les animaux ont été maintenus en groupe dans des boxes semi-paillés afin d'assurer leur engraissement. Les lots ont été maintenus identiques à ceux de la période de pâturage. Après la période de pâturage, les animaux ont reçu une ration composée de 43,5 % de pulpes séchées de betteraves sucrières, 9 % d'orge, 9 % de maïs, 9 % d'épeautre, 9 % de son, 8,5 % de tourteau de soja, 8,5 % de tourteau de lin, 3 % de mélasse et 0,5 % de minéraux et vitamines. Les taurillons ont d'abord été soumis à une période de transition d'une dizaine de jours pendant laquelle ils ont été progressivement amenés à recevoir la ration d'engraisement en quantité proche du niveau *ad libitum*. L'abattage a été décidé en fonction de l'état de finition des animaux estimé par maniement de la graisse sous cutanée au niveau de la base de la queue.

2.2 Mesures phytotechniques

La composition chimique de l'herbe a été déterminée à partir d'échantillons prélevés toutes les deux semaines aux ciseaux à une hauteur de 1 cm du sol. On prélevait un échantillon qui représentait 10 à 15 poignées prises au hasard. La composition chimique de l'herbe (les teneurs en matière sèche, azote total, cellulose, extractif non azoté, cendres, azote soluble, azote non protéique, azote protéique soluble, ammonium, nitrate et minéraux (sodium, calcium, potassium, magnésium et phosphore) a été déterminée par les procédures officielles

(Horwitz, 1975).

Les hauteurs d'herbe ont été mesurées toutes les deux semaines à l'aide d'un herbomètre à plateau, constitué d'une feuille d'aluminium exerçant une pression de 2 kg/m² ; 100 mesures ont été effectuées par ha. Les pourcentages de refus ont été estimés toutes les deux semaines, en faisant le rapport entre le nombre de hauteurs mesurées dans des refus et le nombre de hauteurs mesurées dans des zones pâturées.

La composition de la flore a été estimée la première et la dernière année par une méthode adaptée de la méthode des fréquences (Andries, 1950). Cette mesure n'a pas été réalisée dans l'essai avec les taurillons lors de la première année car la prairie venait d'être implantée.

La production de matière sèche (MS) à l'hectare de la prairie a été mesurée la première année dans 3 enclos soustraits au pâturage, comportant chacun les 3 niveaux de fertilisation azotée. Les enclos étaient subdivisés en 2 bandes de 5 m² chacune. Ces bandes ont été coupées en alternance toutes les 2 semaines à l'aide d'une tondeuse à gazon, à une hauteur de 4 cm.

2.3 Mesures zootechniques

Essai I : Vaches allaitantes

Les animaux ont été pesés tous les 28 jours. Les gains de poids vif des animaux présents dans les parcelles ont été pris en compte dans le calcul des gains par ha. Les consommations de complément ont été répertoriées tous les jours.

Un échantillon de sang prélevé à la veine jugulaire a été effectué à chaque pesée. La teneur en urée plasmatique a été déterminée à partir des plasmas conservés au congélateur par la méthode de la diacétylmonoxime (Butler *et al.*, 1981).

Essai II : Vaches laitières

Les mesures zootechniques comprenaient les productions laitières journalières lors de la traite du matin (6h00) et du soir (15h00) à l'aide de compteurs à lait.

Les teneurs en matières grasses et protéiques, en urée et le nombre de cellules dans le lait ont été déterminés mensuellement à partir d'un échantillon correspondant au lait d'une journée.

Les animaux ont été pesés tous les 28

jours. Les gains par hectare ont été obtenus en additionnant les gains de poids vif des vaches laitières en expérimentation.

Un échantillon de sang a été prélevé lors de chaque pesée. La teneur en urée plasmatique a été déterminée à partir des plasmas conservés au congélateur. Les consommations d'aliments complémentaires ont été répertoriées.

Essai III : Taureaux

Les animaux ont été pesés tous les 28 jours et avant le départ pour l'abattage. Les poids initiaux sont ceux mesurés après la période de transition, soit 10 jours après la mise en prairie pour les lots 3/3 N, 2/3 N et 0 N.

Les rendements d'abattage ont été établis après pesée des carcasses. Les gains de poids vif des animaux présents dans les parcelles ont été pris en compte dans le calcul des gains par hectare. Les consommations d'aliments complémentaires de tous les lots ont été répertoriées et l'indice de consommation calculé.

Un échantillon de sang jugulaire a été effectué lors de chaque pesée pendant les trois dernières années. La teneur en urée plasmatique a été déterminée à partir des plasmas conservés au congélateur.

Lors de l'abattage, un segment monocoostal a été prélevé sur la carcasse de chaque animal afin de reconstituer, après dissection, la composition de la carcasse en muscles, os et tissus conjonctifs-adipeux.

Le pH de la viande du muscle *Longissimus dorsi* a été mesuré à 1, 2, 4 et 48 heures post mortem. Des échantillons du muscle *Longissimus dorsi* de tous les lots ont été conservés pour mesurer la luminosité L*, la couleur rouge a* et jaune b*, 48 heures après l'abattage. Les échantillons ont été utilisés aussi pour mesurer la composition chimique de la viande, et les pertes d'eau par écoulement et à la cuisson. La force de cisaillement « Warner Bratzler », comme indicateur de la tendreté de la viande, a été déterminée 9 jours après l'abattage. La détermination des teneurs en acides gras des échantillons prélevés lors de la dissection a été réalisée la deuxième année d'essai pour les lots Témoin et 3/3 N.

2.4 Détermination des teneurs en nitrates dans le sol

Des prélèvements de terre ont été effectués par carottage sur une profondeur de 90 cm (couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm) pour mesurer la teneur en nitrates dans le sol dans les traitements 3/3 N et 2/3 N. Huit carottes dans chaque parcelle ont été prélevées à 6 reprises dans les prairies pâturées pour les taureaux à la fin de saison de pâturage des années 2, 3, 4 et 6 et au printemps des années 4 et 5, avant l'entrée des animaux. Dans l'essai des vaches laitières, les échantillons ont été effectués 6 fois à la fin de saison de pâturage des années 3, 4 et 6 et au printemps des années 4 et 5, avant l'entrée des animaux. Douze carottes ont été prélevées dans chacun des traitements.

2.5 Bilan azoté et efficacité d'utilisation de l'azote

Les bilans azotés ont été calculés pour tous les essais, en considérant les entrées d'azote aux systèmes (fertilisation + aliments + fixation biologique + pluie) et les sorties d'azote dans les produits animaux (viande et lait).

Les apports d'azote par la pluie ont été estimés à 10 kg N/ha/an selon les résultats publiés par Decau et collaborateurs (1997) et Simpson et Stobbs (1981).

La fixation d'azote par les légumineuses a été calculée en fonction de la formule proposée par Farruggia et collaborateurs (1997) :

Fixation d'azote par les légumineuses = biomasse produite par la prairie (kg MS/ha) x TB% x %NTB x %fixation,

où TB% : pourcentage du trèfle ; %NTB : teneur en azote du trèfle (3,5) ; %fixation : fixation moyenne d'azote du trèfle (0,9).

Les exportations d'azote par le lait (kg/ha/an) ont été estimées par le produit entre la production laitière et sa teneur en azote.

L'azote fixé dans la viande a été calculé en fonction du gain de poids vif et de sa teneur en azote 24 g/kg (essai II) (Farruggia *et al.*, 1997) et 32 g/kg (essais I et III) (De Campeneere *et al.*, 2001). L'azote apporté par les aliments de complément pendant la période de pâturage a été calculé à partir des

quantités distribuées et leur teneur en azote (INRA, 1988).

L'efficacité de l'utilisation d'azote du système a été calculée selon la formule proposée par Leach et Bax (1999), soit :

$$\text{Efficacité (\%)} = (\text{N viande} + \text{N lait}) / \text{Entrées}$$

où les entrées prises en compte ont été la fertilisation azotée, l'apport d'azote par la pluie, l'azote des aliments complémentaires et la fixation biologique par le trèfle.

2.6 Traitement des données

Les résultats ont été traités par la procédure « *General Linear Model* » (GLM) à l'aide du logiciel MINITAB. Le modèle statistique a été :

$$Y_{ij} = T_i + A_j + T_i \times A_j + e_{ij}$$

avec T : effet traitement (ddl = 2), A : effet année (ddl = 5) et effet résiduel.

Les variables analysées pour la procédure GLM ont été :

- pour les aspects phytotechniques : la hauteur de l'herbe, le pourcentage de refus, les teneurs en matière sèche, l'azote total, la cellulose, l'extractif non azoté, les cendres, l'azote soluble, l'azote non protéique, l'azote protéique soluble, l'ammonium, les nitrates et les minéraux Na, Ca, K, Mg et P (pour tous les essais) ;

- pour les aspects zootechniques : le gain de poids individuel, le gain quotidien moyen, l'urée plasmatique (pour tous les essais), la production laitière individuelle, les cellules somatiques, les matières grasses, les matières protéiques du lait et l'urée du lait (essai II). Pour l'essai III, les rendements et le poids des carcasses, l'urée plasmatique, la composition de carcasse (matière sèche, cendres, teneur en protéines, extractif non azoté, extractif étheré), les paramètres de qualité de la viande (pH et température à 1, 2, 4 et 48 heures après l'abattage, luminosité, couleur jaune b*, couleur rouge a*, force de cisaillement et pertes à la cuisson).

Les profils en acides gras du traitement 3/3 N dans les graisses intermusculaires, intramusculaire et sous-cutané ont été comparés avec ceux du lot Témoin engraisé en stabulation ;

- pour les nitrates dans le sol : les valeurs des couches 0-30, 30-60, 60-90 cm et le total du profil ont été comparés pour les essais II et III dans les traitements 3/3 N et 0 N.

Les résultats de production totale de viande et de lait par hectare ainsi que les bilans azotés et les efficacités d'utilisation d'azote ont été comparés par analyse de variance à un critère en considérant le traitement comme facteur de variation.

Les variables qui ont présenté des différences entre les traitements ont été comparées par la méthode des contrastes orthogonaux en vue d'analyser statistiquement l'effet de l'absence ou de la présence de fertilisation azotée associée à la réduction du chargement (0 N vs 3/3 N et 0 N vs 2/3 N) et l'effet du niveau de fertilisation azotée avec le même chargement (3/3 N vs 2/3 N).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats phytotechniques

3.1.1 Production primaire des prairies, composition botanique, hauteur de l'herbe et refus

La production primaire de la prairie a été déterminée uniquement au cours de la première année pour les parcelles pâturées par les vaches laitières. Les résultats illustrent l'effet attendu du niveau d'intensification de la production. Les valeurs de production primaire ont été de 11728, 11454 et 9643 kg MS/ha pour les traitements 3/3 N, 2/3 N et 0 N respectivement. La réponse en kg MS/ha par kg d'azote appliqué a été de 20 kg entre les traitements 0 N et 2/3 N et de 15 kg entre les traitements 0 N et 3/3 N. Le supplément d'azote entre les traitements 2/3 N et 3/3 N n'a permis qu'une réponse de 6 kg. Ces chiffres peuvent être comparés aux résultats obtenus par Frame et Boyd (1987) sur des prairies composées de ray-grass et de trèfle blanc fertilisées avec 0, 120, 240 kg N/ha. Les réponses obtenues par ces auteurs ont été de 7,3 et 9,0 kg MS herbe/kg d'azote appliqué, par rapport à une production de 7800 kg MS/ha pour le traitement 0 N.

Le tableau 2 présente la composition botanique dans les prairies des trois études réalisées (vaches allaitantes,

Tableau 2 : Composition botanique des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux, vaches laitières et taureaux selon les trois protocoles de fertilisation et chargement utilisés.

	ANNEE EVALUEE	TYPE	TRAITEMENT		
			3/3 N	2/3 N	0 N
Essai I	Année 1	Légumineuses	16	14	23
		Graminées	78	84	71
		Autres	6	2	6
	Année 6	Légumineuses	12	13	12
		Graminées	76	80	74
		Autres	12	7	14
Essai II	Année 1	Légumineuses	9	12	21
		Graminées	78	78	68
		Autres	13	10	11
	Année 6	Légumineuses	7	12	14
		Graminées	74	69	61
		Autres	19	19	25
Essai III	Année 6	Légumineuses	15	18	18
		Graminées	69	67	66
		Autres	16	15	16

Tableau 3 : Hauteur d'herbe et pourcentage de refus des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I ; pâturage continu), des vaches laitières (Essai II ; pâturage tournant) et des taureaux (Essai III ; pâturage continu) selon les trois protocoles de fertilisation et chargement utilisés.

	VARIABLE	TRAITEMENT				Effet		
		3/3 N	2/3 N	0 N	ETP	T	A	TxA
Essai I	HP (cm)	4,7	4,8	5,3	2,3	NS	*	NS
	Refus (%)	12,4	13,0	16,9	12,3	NS	*	NS
Essai II	HP entrée (cm)	11,8	11,1	10,6	3,6	*	*	NS
	HP sortie (cm)	4,3	4,1	4,2	1,0	NS	*	NS
	Refus (%)	10,1	9,2	10,1	6,3	NS	*	NS
Essai III	HP (cm)	6,1	6,9	8,4	3,2	*	*	*
	Refus (%)	11,4	13,1	12,8	7,5	NS	*	NS

HP : Hauteur du pâturage. ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : $P < 0,05$

vaches laitières et taureaux). En comparant les essais I et II, on observe une augmentation du pourcentage des plantes diverses de la première à la sixième année d'essai pour les trois traitements. Ces plantes diverses sont principalement représentées par les pissenlits et les renoncules acres. Leur augmentation, au détriment des légumineuses, a été plus marquée dans les traitements 3/3 N et 0 N par rapport au 2/3 N. Dans le traitement 2/3 N, la proportion des légumineuses, composées essentiellement de trèfle blanc, entre la première et la sixième année d'essai a été stable, la proportion des plantes diverses a augmenté tandis que la proportion de graminées a diminué.

La fertilisation azotée et le chargement élevé associé à l'augmentation de l'apport d'azote dans le système, peuvent entraîner une diminution du pourcentage des légumineuses car elles sont moins compétitives en présence d'azote provenant de la fertilisation que les graminées et les plantes diverses (Laidlaw et Steen, 1989). De même, l'absence de fertilisation azotée réduit la compétitivité des graminées productives contre les espèces plus agressives.

Le tableau 3 donne les hauteurs moyennes de l'herbe et les pourcentages moyens de refus dans les prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux, des vaches laitières et des

taureaux pendant les 6 années d'essai.

Pour rappel, les systèmes de pâturage employés ont été le système en rotation pour les vaches laitières et continu pour les vaches allaitantes et les taureaux. On ne peut donc comparer dans l'absolu les hauteurs d'herbe. Dans les essais exploités en continu, les hauteurs ont toujours été plus élevées chez les taureaux (essai III). Ces hauteurs d'herbe sont en accord avec les recommandations de Hodgson (1990) pour un système de pâturage en continu, qui propose des hauteurs d'herbe de 7 à 9 cm. Dans l'essai I, les hauteurs d'herbe ont été relativement faibles. Les animaux ont été complétés avec de l'ensilage de maïs pendant certaines périodes de déficit en herbe.

Des différences significatives entre années ont été observées dans les trois essais pour les hauteurs et les refus. Les différences entre années sont liées à la croissance de l'herbe, elle-même dépendant des conditions environnementales.

Dans l'essai II, les hauteurs moyennes de l'herbe à l'entrée ont été plus élevées avec le traitement 0 N. Il en va de même pour l'essai III. La différence entre les traitements 2/3 N et 3/3 N a été significative uniquement dans l'essai II, les hauteurs d'herbe à l'entrée ayant été plus élevées avec le traitement 3/3 N. Cela peut être associé à l'effet des plus hautes doses d'azote (Delaby et Peyraud, 1998).

À la sortie des parcelles, les hauteurs d'herbe ont été similaires entre traitements, le pâturage étant géré de la même façon. La réduction d'un tiers de la fertilisation (2/3 vs 3/3 N) a finalement eu peu d'influence sur les hauteurs d'herbe. L'absence de fertilisation azotée peut être considérée comme une option si le chargement est adapté.

Des différences significatives ont été constatées entre les années d'essai pour les pourcentages de refus, mais il n'y a pas eu d'interaction année-traitement. Aucune différence significative due aux traitements n'a été observée; le pâturage a été géré de manière à assurer une bonne utilisation de l'herbe. Pour les essais sur pâturage continu, on peut associer les valeurs de hauteurs d'herbe élevée avec les pourcentages de refus plus importants, comme c'est le cas dans le lot 0 N. Il est probable que les animaux ayant une plus grande quantité d'herbe disponible ont eu la possibilité de sélectionner l'herbe.

3.1.2 Composition chimique de l'herbe

Aucune différence significative due aux traitements n'a été constatée pour les teneurs en MS, azote total, cellulose, extractif non azoté et cendres dans les trois essais. Il est normalement rapporté une augmentation de la teneur en matières azotées et une diminution de la teneur en MS de l'herbe des graminées due à l'application de fertilisation azotée (Demarquilly, 1977). Cependant, le trèfle présent dans les prairies a vraisemblablement compensé l'effet de la fertilisation sur la teneur en azote de l'herbe ainsi que les variations de la teneur en MS (Delaby et Peyraud, 1998).

Les fractions azotées (azote soluble, azote non protéique, azote protéique soluble, ammonium et nitrate.) ont varié entre années, mais aucune différence due au niveau d'intensification n'a été constatée, sauf pour la proportion de nitrate dans l'essai II (9,49, 8,73, 7,22 % N total pour les traitements 3/3 N, 2/3 N et 0 N respectivement), mais sans interaction année-traitement. D'après Demarquilly (1977), on pouvait s'attendre à une augmentation de la teneur en azote total de l'herbe des graminées avec la fertilisation azotée ; cette augmentation s'accompagnant le plus souvent

d'une augmentation de la proportion d'azote protéique soluble et surtout de nitrate.

L'augmentation de la teneur en azote est principalement due à l'augmentation d'azote non protéique sous forme de nitrate, pour un tiers à la presque totalité. Cependant, les prairies utilisées comprenaient du trèfle, une légumineuse riche en matières azotées protéiques, généralement favorisée en absence de fertilisation et comme pour les teneurs en azote total, la présence de trèfle a limité les effets de la réduction de la fumure azotée.

Le tableau 4 présente la composition en calcium, potassium, phosphore, sodium et magnésium de l'herbe dans les essais I et III avec les trois niveaux d'intensification du système de pâturage.

Les teneurs en magnésium et phosphore de l'herbe n'ont pas été affectées par les traitements. À l'opposé, les teneurs en calcium dans l'essai I et en sodium dans les essais I et III ont présenté des différences significatives dues aux niveaux d'intensification. Ces résultats peuvent être associés indirectement à des effets de la fertilisation sur la composition botanique de la prairie. La teneur en calcium est généralement réduite avec la fumure azotée, tandis que la teneur

en sodium est augmentée. L'effet de la fertilisation azotée sur les teneurs en phosphore et en potassium de l'herbe est assez variable selon la bibliographie. Cependant il est rapporté que la teneur en magnésium est généralement augmentée par l'application d'azote (Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Hood, 1976 ; Stockdale et King, 1980 ; Hemingway, 1999).

3.2 Résultats zootechniques

3.2.1 Production à l'hectare et production individuelle

Les figures 2a, b, et c présentent les productions individuelles et par hectare des essais I (vaches allaitantes et leurs veaux), essai II (vaches laitières) et essai III (taureaux), respectivement.

Les productions par hectare et individuelles des trois essais ont présenté des résultats différents selon la catégorie d'animaux. Les gains de poids/ha et individuels des vaches allaitantes dans l'essai I (figure 2a) ont été plus élevés dans le traitement 0 N. Par contre, les gains de poids/ha des veaux ont été augmentés avec le niveau de chargement. Si on considère une base 100 pour le lot 3/3 N, les gains de poids vif à l'hectare des lots 2/3 N et 0 N ont été de 101 et 74 %. Par contre les gains individuels ont été similaires entre les traitements. Petit et Muller (1980) rapportent l'existence d'une relation directe entre les gains des veaux et la production laitière des mères. Dans l'essai I, les gains des veaux ont été identiques et l'ingestion de complément a peu varié d'un lot à l'autre. Il apparaîtrait donc logique que la production laitière ait été identique, les vaches des lots 3/3 N et 2/3 N ayant probablement mobilisé leurs réserves afin d'alimenter leurs veaux.

Dans l'essai II (vaches laitières) (figure 2b), la production du lait/ha a été directement liée au niveau de chargement. Avec une base 100 pour le traitement 3/3 N, la production par hectare a été de 100 et 80 % pour les traitements 2/3 N et 0 N respectivement. Par contre, la production laitière individuelle a été légèrement plus élevée dans le traitement 0 N (NS).

Pour l'essai III (taureaux) (figure 2c), les productions par hectare ont également suivi le niveau de chargement avec des gains individuels semblables entre les traitements. Les gains à l'hectare ont été 99 et 70 % dans les

Tableau 4 : Teneur en calcium, potassium, phosphore, sodium et magnésium de l'herbe des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I) et des taureaux (Essai III) selon les trois protocoles de fertilisation et chargement utilisés.

	MINÉRAL (g/ kg MS)	TRAITEMENT				Effet		
		3/3 N	2/3 N	0 N	ETP	T	A	TxA
Essai I	Ca	5,9	5,8	7,1	1,24	*	NS	NS
	K	33,3	35,6	34,9	5,86	NS	NS	NS
	P	4,2	4,2	4,4	0,74	NS	NS	NS
	Na	1,4	1,0	0,9	0,41	*	*	NS
	Mg	2,3	2,2	2,3	0,38	NS	*	NS
Essai II	Ca	7,86	8,28	7,86	1,94	NS	*	*
	K	30,06	30,60	29,65	7,61	NS	*	NS
	P	3,83	3,87	3,88	0,60	NS	*	NS
	Na	0,92	0,94	0,89	0,33	NS	*	*
	Mg	2,54	2,52	2,62	0,48	NS	*	NS
Essai III	Ca	7,29	7,55	8,61	1,44	*	*	NS
	K	36,33	36,49	34,07	4,71	NS	*	NS
	P	4,33	4,24	4,07	0,67	NS	NS	NS
	Na	0,75	0,64	0,61	0,20	*	*	NS
	Mg	2,00	1,97	1,98	0,34	NS	*	NS

ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : P<0,05

Figure 2a : Gain de poids vif par hectare et gain individuel de vaches allaitantes et de leurs veaux pour les trois niveaux d'intensification (essai I)

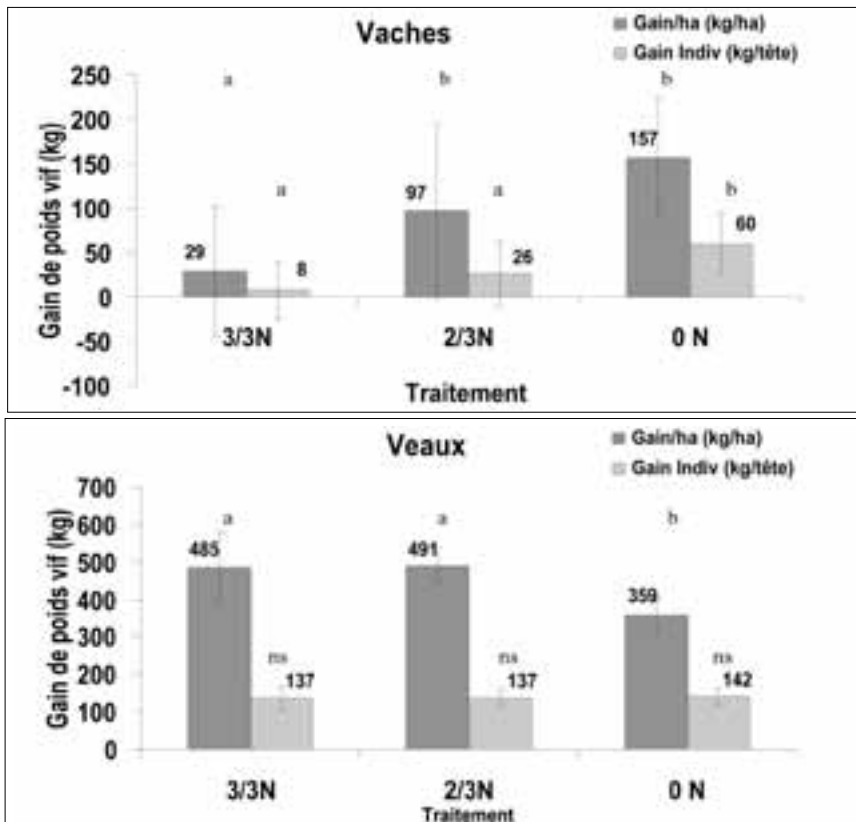


Figure 2b : Production laitière par hectare et production individuelle de vaches laitières pour les trois niveaux d'intensification(essai II).

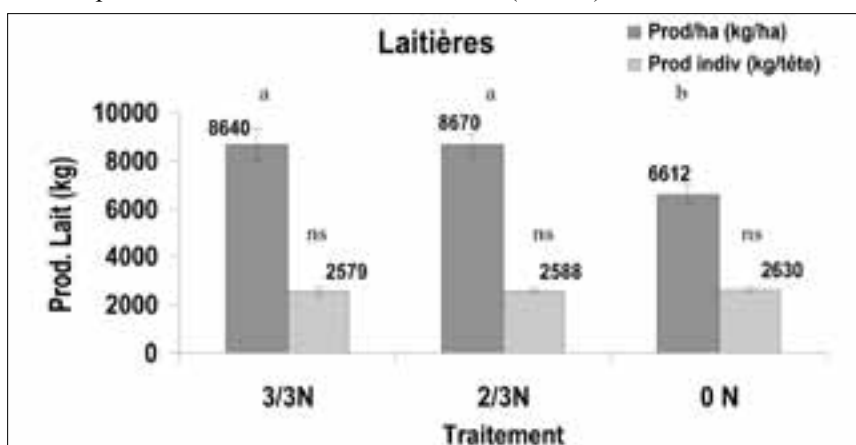
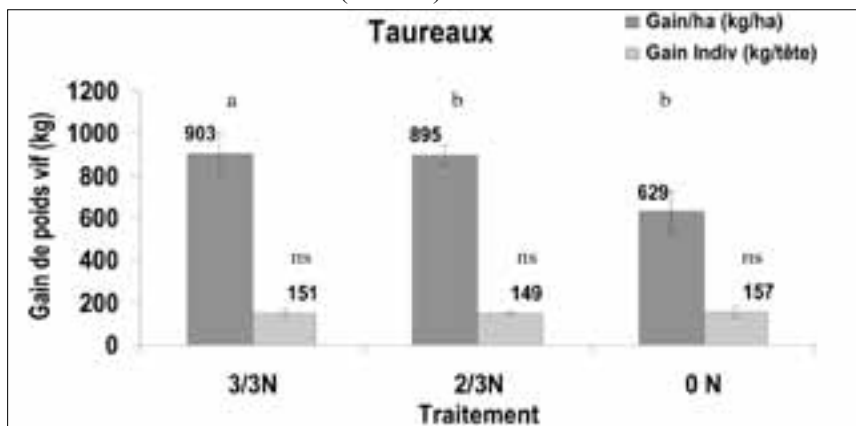


Figure 2c : Gain de poids vif par hectare et gain individuel de taureaux pour les trois niveaux d'intensification (essai III).



traitements 2/3 N et 0 N tandis que les gains de poids vif individuels ont été de 99 et 104 % pour les traitements 2/3 N et 0 N par rapport au traitement 3/3 N (100 %).

D'après ces résultats, on peut conclure que la production laitière (essai II) et le gain de poids (essai III) individuels peuvent être maintenus dans un système sans application de fertilisation azotée chimique si le chargement est ajusté, mais les productions par hectare sont plus faibles.

3.2.2 Qualité des produits

Essai II : Vaches laitières

Le taux protéique du lait n'a pas été affecté par les traitements (valeur moyenne des trois traitements : $3,33 \pm 0,41$ %). Le contenu en cellules dans le lait n'a pas été affecté non plus par les traitements (158 ± 83 , 210 ± 67 et 198 ± 127 pour les traitements 0 N, 2/3 N et 3/3 N respectivement), cependant le traitement 0 N a présenté des valeurs moyennes plus faibles. Une grande variabilité interannuelle et entre animaux a été constatée.

Le taux butyreux moyen a été significativement plus élevé dans le traitement 0 N par rapport aux traitements 3/3 N et 2/3 N ($4,10$ vs $3,89$ et $3,90$ %, pour les traitements 0 N, 2/3 N et 3/3 N respectivement, $P < 0,05$).

Le taux protéique peut varier avec les protocoles de fertilisation azotée (Delaby et Peyraud, 1998), mais avec une teneur en matières azotées de l'herbe semblable entre traitements et la présence de trèfle sur les prairies, l'effet de l'intensification du système n'a pas été mis en évidence dans le présent essai. De même, le taux butyreux peut être influencé par la ration. Néanmoins, le niveau d'intensification semble ne pas avoir affecté la teneur en matière grasse du lait. Harris et collaborateurs (1998) ont rapporté une augmentation du taux butyreux du lait avec une augmentation de la consommation du trèfle, ce qui peut expliquer partiellement les résultats obtenus dans le présent essai.

La teneur en urée du lait a été significativement plus faible dans le traitement 0 N par rapport au traitement 3/3 N (175 , 189 et 198 mg N/l). La diminution de la fertilisation minérale réduit normalement la teneur en urée du lait qui peut affecter négativement la coagulation du lait en fromagerie (Hood, 1976). Martin et collaborateurs

(1997) ont observé qu'avec l'augmentation de la concentration en urée dans le lait, l'acidification du lait est plus lente ce qui peut affecter les caractéristiques sensorielles des fromages. De ce point de vue, la réduction de la fertilisation peut être défavorable ; il faut cependant considérer la réduction de la teneur en urée du lait comme une conséquence et pas un but de l'extensification. L'intérêt de la réduction de l'impact environnemental reste alors important.

Essai II : Taureaux

Le poids moyen (349,7 kg) et le rendement moyen (67,9 %) des carcasses ont été similaires entre traitements et comparables au lot témoin engraisé classiquement en stabulation. De même, le pH et la température des carcasses 1, 2, 4 et 48 heures post-abattage n'ont pas été affectés par le niveau d'intensification ni par l'inclusion d'une période de pâturage.

Les teneurs en MS (24,1 %), en protéines (90,5 % MS), en extrait éthéré (3,54 % MS) et en extractif non azoté de la viande (1,05 % MS) n'ont pas été affectées par les traitements. Cependant, le pourcentage de cendres a été plus élevé dans le traitement 3/3 N par rapport aux autres traitements et lot témoin (5,04 vs 4,69 % MS pour le traitement 3/3 N vs les trois autres traitements, $P < 0,05$). La couleur jaune de la viande n'a pas été influencée par le niveau d'intensification et n'a pas été différent par rapport au lot témoin ($b^* = 17,21$). De même, les pertes d'eau par écoulement (5,7 %) et la force de cisaillement Warner-Bratzler (38,2 N) n'ont pas été affectées par le niveau d'intensification ni par l'inclusion d'une période de pâturage dans le système de production.

La luminosité (L^*) n'a pas été affectée par le niveau d'intensification, cependant, les taureaux du lot témoin, finis en stabulation, ont présenté des valeurs plus élevées (42,20 vs 44,15 L^* pour les taureaux du lot témoin vs les trois traitements en prairie). La viande des taureaux du lot 2/3 N a été plus rouge par rapport au lot témoin, les lots 3/3 N et 0 N présentant des valeurs intermédiaires (17,23, 18,26, 18,00 et 17,00 ; pour les traitements 3/3 N, 2/3 N, 0 N et lot témoin respectivement ; $P < 0,05$).

Les pertes d'eau à la cuisson ont été plus faibles dans le lot témoin par rapport au lot 3/3 N, en présentant des

valeurs intermédiaires dans les lots 2/3 N et 0 N (29,4, 30,5, 30,2, 28,3 %, pour les lots 3/3, 2/3 et 0 N respectivement ; $P < 0,05$).

Le profil en acides gras dans la graisse sous cutanée a présenté des différences significatives avec une proportion plus faible de C14:0 (3,1 vs 4,1 %) et C16:1 (2,8 vs 3,6 %) et une proportion plus haute de C18:0 (19,1 vs 15,5 %) dans le traitement 3/3 N. La proportion des acides gras de la graisse intermusculaire n'a pas été affectée par l'inclusion d'une période du pâturage. Cependant dans la graisse intramusculaire, le traitement 3/3 N a présenté des moyennes plus élevées de C18:3 (2,8 vs 1,5 %). Les carcasses des animaux soumis au pâturage présentent normalement une plus faible proportion de tissus gras et sont plus légères par rapport aux animaux nourris à base de concentré (Camfield *et al.*, 1999). Cette réduction de la teneur en graisse peut réduire la tendreté de la viande, le temps de congélation et entraîner une chute plus lente du pH (Berry *et al.*, 1988). La luminosité de la viande issue d'animaux au pâturage peut être réduite. L'effet du système de production sur la couleur et la flaveur des viandes bovines semble significatif, cependant les facteurs explicatifs de ces phénomènes restent encore mal connus (Priolo *et al.*, 2000). Il faut rappeler cependant que dans l'essai III aucune différence n'a été rapportée pour ces variables.

Selon Wood et Enser (1997) des taurillons finis au pâturage ont présenté des proportions plus élevées d'acide linoléique (18:3n-3) et d'autres acides gras de la série n-3 par rapport aux taurillons finis avec du concentré, la viande de ces derniers contenant des proportions plus élevées d'acide linoléique (18:2n-6) et d'autres acides gras de la série n-6. Cette différence provient du fait que l'acide linoléique est l'acide gras dont la proportion est

la plus élevée dans l'herbe et que les céréales et oléagineux utilisées dans les concentrés ont des proportions plus élevées en acide linoléique. La viande des animaux au pâturage présente une proportion plus favorable du rapport n-6/n-3 en ce qui concerne la santé humaine.

3.2.3 Urée plasmatique

Le tableau 5 présente la concentration moyenne en urée plasmatique des trois niveaux d'intensification pour les trois catégories d'animaux.

La concentration en urée plasmatique dans les trois essais a été significativement plus élevée dans les traitements 3/3 N. Excepté dans l'essai III, les moyennes de concentration en urée des traitements 2/3 N ont été intermédiaires entre les autres traitements. La concentration moyenne en urée plasmatique dans l'essai III (taureaux) a été significativement supérieure pour les animaux en prairie par rapport aux taureaux témoins en stabulation. En plus, dans l'essai II chez des vaches laitières, une corrélation significative ($R = 74\%$; $P < 0,05$) a été observée entre la concentration en urée plasmatique et en urée du lait.

Selon Farruggia et Vérité (1998), l'urée constitue le principal métabolite issu du catabolisme protéique d'un ruminant. Sa concentration dépend principalement de la quantité formée mais aussi de sa vitesse d'excrétion urinaire. D'un autre côté, les restitutions d'azote au système par les rejets azotés sont plus élevées dans les systèmes intensifs de production, soit par l'effet de l'augmentation des teneurs en matières azotées dans l'herbe due à l'apport de fertilisant (Decau *et al.*, 1997 ; Delaby *et al.*, 1997) ou soit par l'augmentation du chargement (Delaby *et al.*, 1998 ; Peyraud et Astigarraga, 1998). Il est utile de rappeler que la teneur en urée plasmatique ou du lait peut être un index

Tableau 5 : Concentration moyenne en urée plasmatique chez des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), des vaches laitières (Essai II) et des taureaux (Essai III) selon les trois protocoles de fertilisation et chargement.

Urée plasmatique (mg N/l)	TRAITEMENT			Témoin Stabulation	ETP	Effet		
	3/3 N	2/3 N	0 N			T	A	AxT
Essai I	301,9	278,7	241,7	-	77,4	*	*	NS
Essai II	165,6	162,8	151,1	-	76,6	*	*	*
Essai III	207,7	213,9	190,8	104,9	56,5	*	*	NS

ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : $P < 0,05$

intéressant de la nutrition protéique et des rejets azotés chez les ruminants (Ciszuck et Gebregziabher, 1994 ; De Brabander *et al.*, 1998 ; Jonker *et al.*, 1998 ; Kohn *et al.*, 2005).

3.3 Nitrates dans le sol

Le tableau 6 présente les moyennes des concentrations en azote nitrique (N-NO₃) dans le sol des prélèvements réalisés dans les traitements 3/3 N et 0 N pour les essais II (vaches laitières) et Essai III (taureaux).

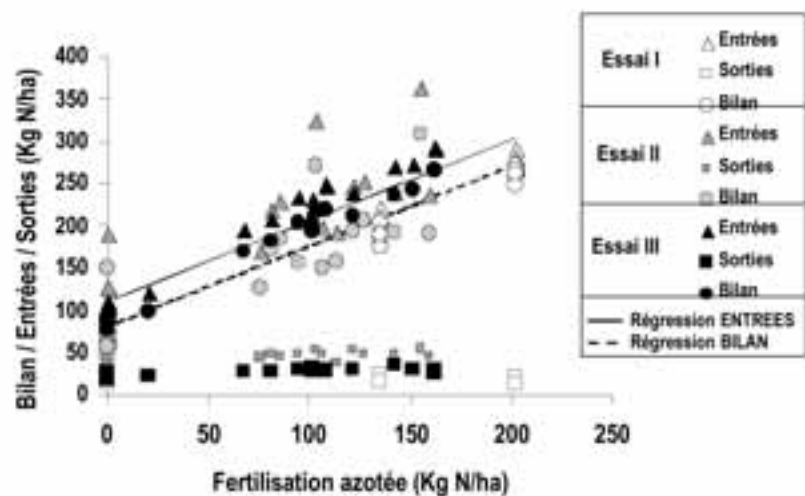
Dans les deux essais, les valeurs moyennes dans les trois couches analysées ont été plus élevées dans le lot 3/3 N par rapport au lot 0 N. Les concentrations moyennes de N-NO₃ dans le sol des traitements 0 N ont été 53 % (essai II) et 76 % (essai III) par rapport aux traitements 3/3 N. Des différences significatives entre traitements ont été observées uniquement dans l'essai II. Par contre, l'essai III n'a pas présenté de différences significatives entre traitements, cependant des différences interannuelles ont été constatées uniquement dans cet essai. Aucune interaction entre traitements et années n'a été observée dans les deux essais. Une augmentation des concentrations en nitrates est normalement rapportée dans le sol avec l'accroissement de la fumure azotée minérale, en prairies fauchées ou pâturées (Spatz, 1992 ; Decau et Le Corre, 1994 ; Cowan *et al.*, 1995). Laidlaw et collaborateurs (2000) ont observé qu'une application de 90 kg N/ha a augmenté de 2,7 fois le contenu en azote nitrique du sol par rapport à l'absence d'application de fumure. En plus, la quantité de nitrates dans le sol

Tableau 6 : Concentration moyenne en nitrates (kg N-NO₃/ha) dans des échantillons de sol prélevés dans des prairies pâturées par des vaches laitières (essai II) et par des taureaux (essai III) des traitements 3/3 N et 0 N.

Concentration de nitrates du sol (kg N-NO ₃ /ha)	Profondeur	TRAITEMENT			Effet		
		3/3 N	0 N	ETP	T	A	TxA
Essai II	0-30cm	21,7	12,7	9,6	*	NS	NS
	30-60cm	22,2	12,8	25,6	NS	NS	NS
	60-90cm	17,5	7,8	20,3	NS	NS	NS
	0-90 cm	62,5	33,3	49,6	*	NS	NS
Essai III	0-30cm	11,9	10,5	10,1	NS	*	NS
	30-60cm	12,9	9,3	11,1	NS	*	NS
	60-90cm	9,6	6,5	9,2	NS	*	NS
	0-90 cm	34,4	26,2	26,9	NS	*	NS

ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : P<0,05

Figure 3 : Entrées, sorties et bilan azoté (kg N/ha) dans les essais de vaches allaitantes et leurs veaux (essai I), vaches laitières (essai II) et taureaux (essai III) par rapport à la fertilisation azotée appliquée.



est fortement influencée par le recyclage de l'azote pour les animaux, à travers des excréments, notamment des pissats (Scholefield et Fisher, 2000).

Dans l'essai des vaches laitières ainsi que pour les taureaux, on n'a pas constaté d'accumulation de N-NO₃ dans le sol à la dernière mesure après six années d'essais dans les profils de sol analysés. Selon Destain et collaborateurs (1994), en fin de saison de pâturage, l'azote nitrique dans le sol représente l'équivalent de 15 à 40 kg N/ha. Cet azote sous forme nitrique ne sera pas prélevé pendant la période hivernale. À la fin de l'hiver, 5 à 10 kg N-NO₃/ha, avec un maximum de 30 kg N-NO₃/ha, sont encore présents, le reste ayant été perdu par lessivage.

L'augmentation des teneurs en nitrates dans les couches dépassant les 60 cm

peut être liée à un risque de lessivage plus important (Milimonka *et al.*, 1994). En présence d'une quantité élevée d'azote dans les couches plus profondes, on observe un risque plus élevé de contamination par nitrate de la nappe d'eau (Spatz, 1992). Selon Elsaesser (1994), pour une pollution minimale des eaux de drainage, il est nécessaire d'obtenir des valeurs inférieures à 45 kg N-NO₃/ha dans les 90 premiers cm de sol. L'utilisation de système avec une fertilisation azotée minimale peut être envisagée afin de ne pas dépasser le seuil de concentration en nitrates dans le sol.

3.4 Bilan azoté et efficacité d'utilisation d'azote du système

En observant les relations calculées entre le niveau de fertilisation azotée et les soldes des bilans azotés, il est clair que l'excès d'azote des systèmes est directement lié au niveau d'application d'azote minéral (figure 3). Une corrélation linéaire significative a été calculée entre la dose d'azote appliquée et les soldes des bilans :

$$\text{Solde du Bilan (Kg N/ha)} = 84,9 + 0,915 * \text{Fertilisation (kg N/ha)} ; R = 0,91 (P < 0,05).$$

En plus, la corrélation entre les entrées dans les systèmes et les soldes du bilan ont été aussi significatives :

$$\text{Solde des Bilans (Kg N/ha)} = -17,0 + 0,956 * \text{Entrées (kg N/ha)} ; R = 0,96 ; (P < 0,05)$$

Il apparaît donc que, dans les présents essais, les excès d'azote ont été liés directement aux entrées d'azote, comme décrit aussi par Jarvis (1999).

Les sorties ont été relativement faibles et peu dépendantes du niveau de fertilisation. Le niveau de fertilisation azotée a finalement été le principal composant des entrées aux systèmes selon l'équation :

$$\text{Entrées (kg N/ha)} = 110 + 0,913 \text{ Fertilisation (kg N/ha)}$$

Farruggia et collaborateurs (1997) ont publié une relation d'équivalence entre le solde du bilan azoté et le niveau de fertilisation azotée ($y = x$). Les différences entre le présent travail et celui de la littérature peuvent s'expliquer parce que dans le travail de Farruggia et collaborateurs (1997) ce sont des prairies de ray-grass fertilisées qui ont été utilisées. Dans les essais du présent travail les flores des prairies contenaient du trèfle. Ce dernier, avec la fixation d'azote atmosphérique augmente les intrants et donc accroît le bilan. Malgré ces différences, la tendance reste la même, c'est-à-dire le maintien d'une relation linéaire entre le bilan azoté et l'augmentation de la fumure azotée appliquée.

Dans l'essai vaches laitières (essai II), une corrélation significative a été calculée entre le bilan azoté (y) et la fertilisation azotée (x) mais dans le modèle, la fixation atmosphérique et l'azote du concentré ont été inclus, ce qui peut expliquer les différences entre l'intercepte calculé et celui publié par Jarvis (1999), en considérant que ces deux postes représentent, en moyenne pour tous les traitements, 115 kg N/ha/

an. La relation est :

$$y = 0,98 x + 108,6 ; R = 0,88$$

La figure 4 présente les proportions des composants des bilans azotés des systèmes calculés pour les trois traitements et avec les trois catégories d'animaux utilisés.

Les entrées dans le système montrent pour les trois essais que c'est la fertilisation azotée qui représente l'entrée d'azote la plus importante. Ce facteur peut être maîtrisé par le producteur. La fixation d'azote par les légumineuses peut être gérée lors du choix de mélange d'espèces pour l'implantation de la prairie, mais aussi par la fertilisation azotée, étant donné que les légumineuses se développent plus favorablement que les graminées dans les systèmes avec faibles fertilisations azotées.

Les bilans azotés des trois essais présentés dans la figure 4 montrent des sorties proportionnelles aux entrées du système. L'essai I (vaches allaitantes et veaux) apparaît comme particulier étant donné que c'est le plus faible chargement qui a favorisé le gain de poids individuel plus élevé des vaches, ce qui se traduit en exportations plus importantes d'azote dans les produits animaux. Néanmoins, les gains individuels des veaux ont été similaires entre traitements ce qui a induit des productions à l'hectare directement proportionnelles au chargement. En suivant le même principe, pour les essais II

et III (vaches laitières et taureaux respectivement), les exportations d'azote à l'hectare ont été liées au niveau de production à l'hectare et celles-ci au niveau de chargement.

Les exportations d'azote du système en production laitière (essai II) ont été supérieures par rapport aux deux autres essais, c'est-à-dire qu'il apparaît que les quantités produites sont plus élevées dans le système laitier par rapport aux systèmes de production de viande. Dans les essais de production de viande, l'essai III, avec des taurillons en croissance, a permis des sorties d'azote plus importantes grâce aux gains de poids et aux chargements plus élevés.

Avec les protocoles utilisés dans les essais II et III, on a obtenu des sorties d'azote semblables entre traitements 3/3 N et 2/3 N. En vue de réduire les pertes du système, il apparaît que le système 2/3 N avec une réduction d'un tiers de la fertilisation azotée est le plus indiqué. L'économie de fertilisation azotée dans le traitement 2/3 N se traduit en plus par de faibles pertes d'azote par lessivage et volatilisation de l'azote apporté. Cependant, pour obtenir les mêmes productions à l'hectare le chargement doit être conservé. Ce système a pu être maintenu pendant six années consécutives. L'absence de fertilisation azotée appliquée dans le traitement 0 N apparaît comme optimale du point de vue environnemental : le chargement réduit, d'une part et l'absence de fumure azotée d'autre part, induisent des pertes d'azote faibles. Il faut cependant admettre des productions plus basses à l'hectare.

L'essai I présente des sorties d'azote plus importantes par la production de viande par les vaches allaitantes. Néanmoins, il faut considérer que l'azote retenu dans la viande sort du système et n'affecte pas directement l'environnement. C'est le chargement, le principal facteur lié aux animaux, qui détermine le niveau de rejets azotés des animaux. L'azote ainsi rejeté peut être volatilisé ou lessivé et avoir un effet direct négatif. D'un autre côté, les réponses de la production des veaux avec le protocole utilisé a suivi le même rapport que les essais II et III.

D'après Farruggia et collaborateurs (1997) le total des exportations d'azote dépend assez peu du niveau de fertilisation. C'est le mode d'exploitation qui conditionne l'importance de ce

Figure 4 : Bilans azotés et leurs composants dans les essais de vaches allaitantes et leur veaux (essai I), vaches laitières (essai II) et taureaux (essai III).

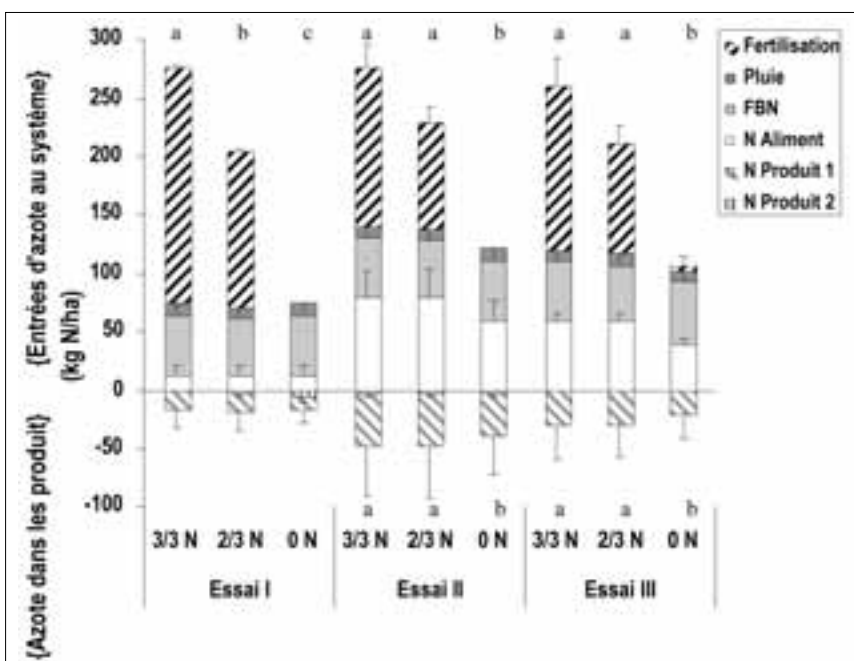


Tableau 7 : Efficacité d'utilisation de l'azote (N sorties en produits / N entrées) et participation de la fertilisation azotée dans les entrées au système (%) pour les essais I (vaches allaitantes), essai II (vaches laitières) et essai III (taureaux) pour les trois protocoles d'intensification.

	Efficacité (%)				Participation de la fertilisation (%)			
	TRAITEMENTS				TRAITEMENTS			
	3/3 N	2/3 N	0 N	ETP	3/3 N	2/3 N	0 N	ETP
Essai I	4 a	7 a	16 b	3	73 a	65 b	0 c	2
Essai II	18 a	21 a	31 b	4	53 a	41 b	0 c	7
Essai III	8 a	9 a	14 b	2	53a	41 b	0 c	5

ETP : Ecart Type Poolé ; des lettres différentes indiquent des différences statistiques au seuil de 5% (comparaison avec des contrastes orthogonaux).

Efficacité % = $[N \text{ produit animal}] / [Entrées (N \text{ fertilisation} + N \text{ pluie} + N \text{ prairie} + N \text{ aliment})] \times 100$

Participation de la fertilisation % = $N \text{ fertilisant} / N \text{ Entrées} \times 100$

poste. Il est faible et quasiment indépendant de la fertilisation en système de production bovin viandeux (de 15 à 30 kg N/ha/an pour une gamme de fertilisation allant de 0 à 390 kg N/ha/an). Dans le cas de pâturage par des vaches laitières, les déjections tombant hors de la parcelle peuvent représenter plus de la moitié de l'azote exporté. Lorsque les vaches laitières séjournent en permanence sur les parcelles sauf pour les traites, l'azote exporté par le lait varie entre 50 et 100 kg en général.

Les efficacités d'utilisation d'azote et la participation de la fertilisation azotée dans les intrants au système calculées pour les trois essais sont présentées au tableau 7.

Les quantités d'azote appliquées avec la fertilisation azotée sont la principale cause d'intrant d'azote au système. De

trois quarts à plus de 50 % des intrants au système sont attribuables à la fertilisation azotée appliquée. Grâce à une réduction des intrants, les efficacités d'utilisation d'azote ont été significativement plus élevées dans les traitements 0 N pour les trois catégories d'animaux.

4. CONCLUSIONS

Les essais décrits dans le cadre de ce travail ont étudié deux manières d'extensifier la production de lait et de viande au pâturage. Il apparaît qu'il est possible de réduire la fumure azotée de 33 % sans modifier le chargement de pâturage et sans pénaliser les performances des animaux. Cette étude originale met en évidence un certain gaspillage d'azote dans les systèmes pâturés. Avec un apport nul en engrais azoté, on peut obtenir des

performances individuelles élevées si le chargement de pâturage est adapté. Ce système peut être appliqué afin de diminuer la production animale dans le cadre d'une politique d'extensification. D'un point de vue environnemental, ces deux systèmes permettent de réduire largement les rejets azotés et d'améliorer le bilan azoté. D'ailleurs l'élevage en système extensif permet d'obtenir une viande plus favorable pour la santé humaine du point de vue de la composition en acides gras.

L'extensification est donc possible dans les conditions belges, mais il faut tenir compte de la structure de certaines exploitations, trop petites pour être gérées de manière extensive, et des ressources économiques de chaque exploitation. Un système de compensation financière sous forme d'aide est cependant indispensable afin de rendre le système viable. D'autres types de gestion comme l'utilisation des engrais de ferme doivent également être pris en compte à l'avenir : ce type de gestion rentre également dans une politique soucieuse de l'environnement. Elle demande aussi une technicité bien maîtrisée afin d'éviter les risques de pollution.

Une bonne gestion des surfaces fourragères est fondamentale à l'heure actuelle où les coûts de production deviennent très élevés. Des surfaces fourragères bien gérées permettent de produire des aliments de bonne qualité à faibles coûts dans les exploitations d'élevage.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIES A. L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages, par l'examen de leur composition botanique. *Rev. Agric.*, 1950, **12**, 15-19.
- BERRY B.W., LEDDY K.F., BOND J., RUMSEY T.S., HAMMOND A.C. Effects of silage diets and an electrical stimulation on the palatability, cooking and pH characteristics of beef loin steaks. *J. Anim. Sci.*, 1988, **66**, 892-900.
- BUTLER A.R., HUSSAIN I., LEITCH E. The chemistry of the diacetyl monoxime assay of urea in biological fluids. *Clin. Chim. Acta*, 1981, **112**, 357-360.
- CAMFIELD P.K., BROWN A.H., JOHNSON Z.B., BROWN C.J., LEWIS P.K., RAKES L.Y. Effects of growth type on carcass traits on pasture or feedlot developed steers. *J. Anim. Sci.*, 1999, **77**, 2437-2443.
- CISZUCK P., GEBREGZIABHER T. Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agric. Scand.*, 1994, **44**, 87-95.
- COWAN R.T., LOWE K.F., EHRLICH W., UPTON P.C., BOWDLER T.M. Nitrogen-fertilised grass in a subtropical dairy system. 1. Effect of level of nitrogen fertiliser on pasture yield and soil chemical characteristics. *Aust. J. Exp. Agr.*, 1995, **35**, 125-135.
- DE BRABANDER D.L., BOTTERMAN S.M., VANACKER J.M., BOUCQUE C.V. La teneur du lait en urée comme indicateur de l'alimentation énergétique et protéique de la vache laitière ainsi que de l'excrétion d'azote. In : 5^e journées 3R : Rencontres-Recherches-Ruminants, 1998, 228.
- DE CAMPENEERE S., FIEMS L.O., DE PAPE M., VANACKER J.M., BOUCQUÉ C.V. Compositional

- data on Belgian Blue double-muscled bulls. *Anim. Res.*, 2001, **50**, 43-55.
- DECAU M.L., DELABY L., ROCHE B. AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières : II Le flux du système sol-plante. *Fourrages*, 1997, **151**, 313-330.
- DECAU M.L., LECORREL A. A drained plot study of the impact of cutting and/or grazing management and N fertilisation on nitrate leaching under grassland. In : t'Mannetje L., Frame J. (eds.), Proceeding of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation, Holland, 1994, 382-386.
- DELABY L., DECAU M.L., PEYRAUD J.L., ACCARIE P. AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières : I les flux associés à l'animal. *Fourrages*, 1997, **151**, 297-312.
- DELABY L., PEYRAUD J.L. Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage. *Ann. Zootech.*, 1998, **47**, 17-39.
- DELABY L., PEYRAUD J.L., BOUTTIER A., PECCATTE J.R. : Effet de deux conduites du pâturage sur les performances des vaches laitières, la valorisation des prairies et les restitutions d'azote. In : 5^e journées 3R : Rencontres-Recherches-Ruminants, 1998, 229.
- DEMARQUILLY C. Fertilisation et qualité du fourrage. *Fourrages*, 1977, **69**, 61-84.
- DESTAIN J.P., GUIOT J., LIMBOURG P., LECOMTE P. Première approche du bilan de l'azote en prairie permanente pâturée et de son aspect environnemental. *Fourrages Actualités*, Centre wallon de Recherches agronomiques : Gembloux, 1994.
- ELSAESSER M. Effects of reduced N application on mineral N contents, DM yield and botanical composition of permanent grassland. In : t'Mannetje L., Frame J. (eds.) Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation, Holland, 1994, 434-437.
- FARRUGGIA A., DECAU M.L., VERTIE F., DELABY L. En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle. *Fourrages*, 1997, **151**, 281-295.
- FARRUGGIA P., VERITE R. Utilisation de la teneur en urée du lait comme indicateur de la nutrition protéique et des rejets azotés chez la vache laitière. In : 5^e journées 3R : Rencontres-Recherches-Ruminants, 1998, **5**, 209-212.
- FRAME J., BOYD A.G. The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. *Grass Forage Sci.*, 1987, **42**, 85-96.
- HARRIS S.L., AULDIST M.J., CLARK D.A., JANSEN E.B.L. Effects of white clover content in the diet on herbage intake, milk production and milk composition of New Zealand dairy cow housed indoors. *J. Dairy Res.*, 1998, **65**, 389-400.
- HEMINGWAY R.G. The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle: a 50-year review. *Anim. Sci.*, 1999, **69**, 1-18.
- HODGSON J. Grazing management : science into practice. John Wiley : Harlow, 1990, 203 pp.
- HOOD A.E.M. The high nitrogen trial on grassland at Jealott's Hill. *Stikstof*, 1976, **83/84**, 395-404.
- HORWITZ H. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists 12th ed. Association of Official Analytical Chemists : Washington, 1975, 1094 p.
- INRA Alimentation des ruminants. INRA Publications, Versailles, France, 1988.
- JARVIS S.C. Accounting for nutrients in Grassland: challenges and needs. In : Corrall A.J. (eds.), Proceedings of the 33th Occasional Symposium of British Grassland Society. Oxfordshire, 1999, 3-12.
- JONKER J.S., KOHN R.A., ERDMAN R.A. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilisation efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 1998, **81**, 2681-2692.
- KEANE M.G., ALLEN P. Effects of pasture fertiliser N level on herbage composition, animal performance and on carcass and meat quality traits. *Livestock Prod. Sci.*, 1999, **61**, 233-244.
- KOHN R. A., DINNEEN M. M., RUSSEK-COHEN E. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *J. Anim. Sci.*, 2005, **83**, 879-889.
- LAIDLAW A.S., STEEN R.W.J. Turnover of grass laminae and white clover leaves in mixed swards continuously grazed with steers at a high- and low-N fertilizer level. *Grass Forage Sci.*, 1989, **44**, 249-258.
- LAIDLAW A.S., WATSON C.J., MAYNE C.S. Implications of nitrogen fertilizer application and extended grazing for the N economy of grassland. *Grass Forage Sci.*, 2000, **55**, 37-46.
- LEACH K.A., BAX J.A. Efficiency of nitrogen use in dairy systems. In : Corrall A.J. (Eds), Proceedings of the 33 Occasional Symposium of British Grassland Society. Oxfordshire, 1999, 69-74.
- MENISSIER F. Objectifs de sélection des bovins à viande face à une extensification des systèmes de production. In : 41^e réunion annuelle de la Fédération européenne de Zootechnie, 1990, 1-14.
- MICOL D., DEDIEU B., AGABRIEL J., BERANGER C. Adaptation de la production de viande bovine aux systèmes extensifs d'élevage. *Fourrages*, 1997, **149**, 3-20.
- MILIMONKA A., RICHTER K., JUKSCHAT M., EBEL G. Changes in quantity of mineral soil nitrogen below different pasture ranges in an extensively managed pasture. In : t'Mannetje L., Frame J. (eds.), Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation, Holland, 1994, 423-428.
- PETIT M., MULLER A. Utilisation du pâturage par les vaches allaitantes : influence du chargement. *Ann. Zootech.*, 1980, **29**, 317-338.

- PEYRAUD J.L., ASTIGARRAGA L.
Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1998, **72**, 235-259.
- PRIOLO A., MICOL D., AGABRIEL J.
Effets d'une alimentation à base d'herbe sur la couleur et la flaveur des viandes bovines. In : 7^e journées 3R : Rencontres-Recherches-Ruminants, 2000, 267.
- SCHOLEFIELD D., FISHER G.E.J.
Nutrient cycling in grazing systems. In : Rook A.J., Penning P.D. (eds.), Proceedings of the 34th Occasional symposium of the British Grassland Society, Harrogate, UK, 2000, 119-128.
- SIMON J.C., VERTES F., DECAU M.L., LE CORRE L.
Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies. *Fourrages*, 1997, **151**, 249-262.
- SIMPSON J.R., STOBBS T.H.
Nitrogen supply and animal production from pastures. In : Morley F.H. (ed), *Grazing Animals*, Elsevier: Amsterdam, **1981**, 261-287.
- SPATZ G.
Nitrate leaching under pastures. In : Pulli S. (ed.), Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation, Finland, **1992**, 208-209.
- STEVENS R.J.
Losses to water and air. In : Corral A.J. (eds.), Proceedings of the 33th Occasional Symposium of British Grassland Society. Oxfordshire, UK, **1999**, 77-86.
- STOCKDALE C.R., KING K.R.
The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on the productivity of irrigated perennial pasture grazed by dairy cows. 1. Pasture production, utilisation and composition. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 1980, **20**, 529-536.
- WOOD J.D., ENSER M.
Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants improving meat quality. *Br. J. Nutr.*, 1997, **78**, S49-S60.
- YIAKOUMETTIS I.M., HOLMES W.
The effect of nitrogen and stocking rate on the output of pasture grazed by beef cattle. *J. Br. Grassland Soc.*, 1972, **27**, 183-191.